

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-130042

(P2002-130042A)

(43) 公開日 平成14年5月9日(2002.5.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコ-ト*(参考)
F 0 2 D 45/00	3 6 6	F 0 2 D 45/00	3 6 6 G 3 G 0 8 4
	3 7 0		3 7 0 B 3 G 0 9 2
13/02		13/02	D 3 G 3 0 1
			J
35/00		41/04	3 2 0
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 13 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-324677(P2000-324677)

(22) 出願日 平成12年10月19日(2000.10.19)

(71) 出願人 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 八木 豊児

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(74) 代理人 100098420

弁理士 加古 宗男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内燃機関の筒内充填空気量検出装置

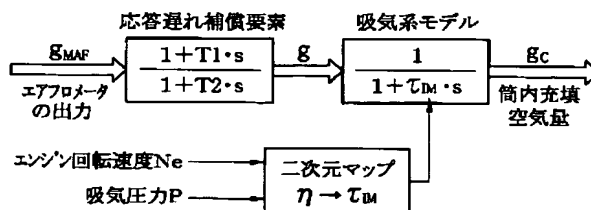
(57) 【要約】

【課題】 内燃機関の筒内充填空気量の演算精度を向上させる。

【解決手段】 スロットルバルブからエンジンの吸気口までの吸気通路を流れる吸入空気の挙動をモデル化した吸気系モデルの入力側にエアフロメータの出力 g_{MAF} の応答遅れを位相進み補償で補償する応答遅れ補償要素を設け、この応答遅れ補償要素の出力 g を吸気系モデルに入力する。位相進み補償の伝達関数は

$$g = (1 + T_1 \cdot s) / (1 + T_2 \cdot s) \cdot g_{MAF}$$

である。ここで、 T_1 、 T_2 は位相進み補償の時定数であり、エアフロメータの出力 g_{MAF} 、エンジン回転速度、吸気圧力、スロットル開度のうちの少なくとも1つに基づいて設定される。吸気系モデルのモデル時定数 τ_m は、体積効率とエンジン回転速度を変数とする数式で算出され、体積効率はエンジン回転速度と吸気圧力をパラメータとする二次元マップにより算出される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 内燃機関の吸気通路を流れる吸入空気の流量を検出する吸入空気流量検出手段と、前記吸入空気流量検出手段の応答遅れを補償する応答遅れ補償手段と、スロットルバルブを通過した吸入空気が筒内に流入するまでの吸入空気の挙動を模擬した吸気系モデルを用い、前記応答遅れ補償手段の出力を該吸気系モデルに入力して該吸気系モデルの出力である筒内充填空気を演算する演算手段とを備えていることを特徴とする内燃機関の筒内充填空気量検出装置。

【請求項 2】 前記応答遅れ補償手段は、前記吸入空気流量検出手段の応答遅れを位相進み補償で補償することを特徴とする請求項 1 に記載の内燃機関の筒内充填空気量検出装置。

【請求項 3】 前記応答遅れ補償手段は、位相進み補償の時定数を、機関回転速度、吸気圧力、スロットル開度、前記吸入空気流量検出手段の出力のうちの少なくとも 1 つに基づいて設定することを特徴とする請求項 2 に記載の内燃機関の筒内充填空気量検出装置。

【請求項 4】 前記位相進み補償の伝達関数の分母の項と分子の項が分離され、該分子の項が前記吸気系モデルの伝達関数の分子の項に組み込まれていることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の内燃機関の筒内充填空気量検出装置。

【請求項 5】 前記吸入空気流量検出手段として熱式エアフロメータを設けると共に、前記吸気通路内の吸気圧力を検出する吸気圧力検出手段を設け、前記演算手段は、始動時には前記吸気圧力検出手段の出力に基づいて筒内充填空気を演算し、その後、前記吸入空気流量検出手段が活性化して筒内充填空気を正しく演算したと推定される時期に前記筒内充填空気の演算方法を前記応答遅れ補償手段の出力に基づく筒内充填空気量の演算に徐々に又は直ちに切り換えることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の内燃機関の筒内充填空気量検出装置。

【請求項 6】 前記演算手段は、前記吸気系モデルのモデル時定数を機関回転速度と吸気圧力に基づいて設定することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の内燃機関の筒内充填空気量検出装置。

【請求項 7】 前記演算手段は、機関回転速度と吸気圧力に基づいて体積効率を演算し、この体積効率と機関回転速度に基づいて前記吸気系モデルのモデル時定数を設定することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の内燃機関の筒内充填空気量検出装置。

【請求項 8】 前記演算手段は、前記モデル時定数又は体積効率を算出するためのパラメータの 1 つとして、吸気圧力の代わりに吸気圧力／大気圧を用いることを特徴とする請求項 6 又は 7 に記載の内燃機関の筒内充填空気量検出装置。

【請求項 9】 内燃機関の吸気バルブ及び／又は排気バルブの開閉タイミングを可変する可変バルブタイミング機構を備え、前記演算手段は、前記機関回転速度等に基づいて演算したモデル時定数又は体積効率を前記可変バルブタイミング機構の動作の応答遅れに応じて補正することを特徴とする請求項 6 乃至 8 のいずれかに記載の内燃機関の筒内充填空気量検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、吸入空気流量を検出して筒内充填空気量（シリンダ吸入空気量）を演算する内燃機関の筒内充填空気量検出装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】一般に、エンジンの筒内充填空気量を測定する方法は、吸入空気流量をエアフロメータで検出して、その検出値から筒内充填空気量を演算する方式（以下「マスフロー方式」という）と、吸気圧力を吸気圧力センサで検出して、吸気圧力とエンジン回転速度とから筒内充填空気量を演算する方式（以下「スピードデンシティ方式」という）とに大別される。マスフロー方式は、定常時に吸入空気流量＝筒内充填空気量となるため、定常時の筒内充填空気量の測定精度が良いという利点があるが、過渡時にはエアフロメータの応答遅れ（例えば熱式のエアフロメータの場合は、エアフロメータのセンサ部自身のヒートマスによる応答遅れ）が存在するため、過渡時の応答性が悪いという欠点がある。

【0003】これに対し、スピードデンシティ方式は、マスフロー方式と比較して過渡時の応答性が良いという特長がある。これは、吸気圧力センサが高応答であるためである。

【0004】そこで、近年、マスフロー方式とスピードデンシティ方式の両方式の長所を併せ持つ 2 センサ併用方式が開発されている。この 2 センサ併用方式は、エアフロメータと吸気圧力センサの両方を設置して、定常時には、エアフロメータで検出した吸入空気流量から筒内充填空気量を演算し、過渡時には、吸気圧力センサで検出した吸気圧力とエンジン回転速度とから筒内充填空気量を演算するようにしている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記 2 センサ併用方式では、過渡時には、吸気圧力センサで検出した吸気圧力とエンジン回転速度とから筒内充填空気量を演算するが、筒内充填空気量は、吸気圧力の他に、体積効率や吸気温度によっても変化するため、それらの検出誤差等の影響を受けて筒内充填空気量の演算結果に誤差が生じる。近年のエンジンは、益々厳しくなる排出ガス浄化規制のために非常に高精度な空燃比制御（燃料噴射制御）が要求されるようになってきており、そのためには、筒

内充填空気量の演算精度を高めることが必要不可欠である。

【0006】本発明はこのような事情を考慮してなされたものであり、従ってその目的は、筒内充填空気量の演算精度を高めることができる内燃機関の筒内充填空気量検出装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の請求項1の内燃機関の筒内充填空気量検出装置は、内燃機関の吸気通路を流れる吸入空気の流量を検出する吸入空気流量検出手段の応答遅れを応答遅れ補償手段により補償し、スロットルバルブを通過した吸入空気が筒内に流入するまでの吸入空気の挙動を模擬した吸気系モデルを用い、前記応答遅れ補償手段の出力を該吸気系モデルに入力して該吸気系モデルの出力である筒内充填空気量（シリンダ吸入空気量）を演算手段により演算するようにしたものである。この場合、吸入空気流量検出手段の応答遅れを補償する応答遅れ補償手段を備えているため、過渡時でも吸入空気流量の検出値から筒内充填空気量を応答性良く演算することができ、筒内充填空気量の演算精度を高めることができる。

【0008】この場合、請求項2のように、吸入空気流量検出手段の応答遅れを位相進み補償で補償するようにすると良い。これにより、検出系の応答性を改善することができる。

【0009】ところで、吸入空気流量検出手段の応答遅れは、吸入空気流量によって変化するため、吸入空気流量検出手段の応答遅れを補償する位相進み補償の時定数は、吸入空気流量に応じて設定することが好ましい。

【0010】そこで、請求項3のように、位相進み補償の時定数を、吸入空気流量と相関関係のあるパラメータである機関回転速度、吸気圧力、スロットル開度、吸入空気流量検出手段の出力のうちの少なくとも1つに基づいて設定するようにすると良い。このようにすれば、位相進み補償の時定数を吸入空気流量に応じた適正值に設定することができる。

【0011】また、請求項4のように、位相進み補償の伝達関数の分母の項と分子の項を分離し、該分子の項を吸気系モデルの伝達関数の分子の項に組み込むようにしても良い。このようにすれば、吸入空気流量検出手段の出力を補償する補償要素が単純な一次遅れ要素（ローパスフィルタ）となるため、吸入空気流量（吸入空気流量検出手段の出力）が急激に変化したときでも、補償要素の出力が発散（振動）することを防止できて、検出系の応答性を改善しながら安定性も確保することができる。

【0012】ところで、吸入空気流量検出手段としては、例えば熱式エアフロメータ、ベーン式やカルマン渦式のエアフロメータのいずれを用いても良いが、近年、最も多く使用されている熱式エアフロメータは、吸入空気の質量流量に対応した出力を得ることができるの

で、ベーン式やカルマン渦式のエアフロメータに比べて空気の密度（温度、圧力）による影響がなく、空気の密度による補正が不要であると共に、可動部分が無く、小型（低圧力損失）、低コストである等の利点を有する。

【0013】この熱式エアフロメータのセンサ部は、吸入空気で冷やされる熱線と、吸気温度を検出する温度検出素子とから構成され、熱線の温度と吸気温度との温度差を一定に保つように熱線への供給電流を制御して、その供給電流によって吸入空気流量を検出する構成であるため、始動時に、熱線への電流供給を開始して熱線の温度と吸気温度との温度差が一定値に達するまでの期間（つまり熱式エアフロメータが活性化するための期間）は、吸入空気流量を精度良く検出することはできない。また、エンジン停止中は、吸気マニホールド内に大気圧の空気が充填されており、始動時には、この吸気マニホールド内の大気圧の空気が筒内に吸入されるため、吸気マニホールドの上流側で吸入空気流量を検出するエアフロメータでは、始動時の吸入空気流量を精度良く検出することができない。

【0014】そこで、請求項5のように、吸気圧力を検出する吸気圧力検出手段を備えたシステムでは、始動時に、吸気圧力検出手段の出力に基づいて筒内充填空気量を演算し、その後、吸入空気流量検出手段（熱式エアフロメータ）が活性化して筒内充填空気量を正しく演算したと推定される時、又は始動から所定時間が経過した時に、筒内充填空気量の演算方法を応答遅れ補償手段の出力に基づく筒内充填空気量の演算に徐々に又は直ちに切り換えるようにすると良い。一般に、吸気圧力検出手段は、吸気圧力によるダイヤフラムの変位を検出するものであるため、熱式エアフロメータのような始動時の未活性期間は無く、電源投入直後（イグニッションスイッチのオン直後）から吸気圧力を検出可能である。従って、始動時に、吸入空気流量検出手段が活性化するまで、吸気圧力検出手段の出力に基づいて筒内充填空気量を演算するようにすれば、吸入空気流量検出手段の未活性期間でも、筒内充填空気量を検出することができる。

【0015】また、スロットルバルブを通過した吸入空気が筒内に流入するまでの吸入空気の挙動を模擬した吸気系モデルの応答性は、吸入空気流量によって変化するため、吸気系モデルの時定数は、吸入空気流量に応じて設定することが好ましい。

【0016】そこで、請求項6のように、吸気系モデルのモデル時定数を、吸入空気流量と相関関係のあるパラメータである機関回転速度と吸気圧力に基づいて設定するようにすると良い。これにより、吸気系モデルのモデル時定数を吸入空気流量に応じた適正值に設定することができる。

【0017】また、吸気系モデルの応答性は、体積効率によっても変化するため、請求項7のように、機関回転速度と吸気圧力に基づいて体積効率を演算し、この体積

効率と機関回転速度に基づいて吸気系モデルのモデル時定数を設定するようにしても良い。このようにすれば、体積効率も考慮した精度の良いモデル時定数を算出することができる。

【0018】また、請求項8のように、モデル時定数又は体積効率を算出するためのパラメータの1つとして、吸気圧力の代わりに吸気圧力/大気圧を用いるようにしても良い。このようにすれば、山岳走行時の標高変化等によって大気圧が変化しても、その影響を受けずに筒内充填空気量を精度良く演算することができる。

【0019】また、請求項9のように、内燃機関の吸気バルブ及び/又は排気バルブの開閉タイミングを可変する可変バルブタイミング機構を備えたシステムでは、機関回転速度等に基づいて演算したモデル時定数又は体積効率を可変バルブタイミング機構の動作の応答遅れに応じて補正するようにしても良い。このようにすれば、機関回転速度等をパラメータとする1枚のマップを用いて演算したモデル時定数又は体積効率を、可変バルブタイミング機構の動作の応答遅れに応じて補正することで、1枚のマップから可変バルブタイミング機構の動作の応答遅れを補償したモデル時定数又は体積効率を求めることができる。このため、モデル時定数又は体積効率の算出マップをバルブタイミングに応じて何枚も作成しなくても、1枚のマップで全てのバルブタイミングに対応することができ、マップ作成の適合工数を少なくすることができると共に、マップデータの記憶に必要なメモリ容量も少なくすることができる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明を吸気/排気可変バルブタイミング機構付きのエンジンに適用した一実施形態を図面に基いて説明する。

【0021】まず、図1に基づいてエンジン制御システム全体の概略構成を説明する。内燃機関であるエンジン11の吸気管12（吸気通路）の最上流部には、エアクリーナ13が設けられ、このエアクリーナ13の下流側には、吸入空気量を検出する熱式のエアフロメータ14（吸入空気流量検出手段）が設けられている。このエアフロメータ14は、吸入空気の流れの中に配置される熱線（図示せず）と吸気温度検出素子（図示せず）が内蔵され、吸入空気中で冷やされる熱線の温度と吸気温度との温度差を一定に保つように熱線への供給電流が制御される。これにより、吸入空気流量に応じて変化する熱線の放熱量に応じて熱線への供給電流が変化し、この供給電流に応じた電圧信号が吸入空気流量信号として出力される。このエアフロメータ14の下流側には、スロットルバルブ15とスロットル開度を検出するスロットル開度センサ16とが設けられている。

【0022】更に、スロットルバルブ15の下流側には、サージタンク17が設けられ、このサージタンク17に、吸気圧力Pを検出する吸気圧力センサ18（吸気

圧力検出手段）が設けられている。また、サージタンク17には、エンジン11の各気筒に空気を導入する吸気マニホールド19が設けられ、各気筒の吸気マニホールド19の吸気ポート近傍に、それぞれ燃料を噴射する燃料噴射弁20が取り付けられている。エンジン11の吸気バルブ25と排気バルブ26は、それぞれ可変バルブタイミング機構28、29によって駆動され、エンジン運転状態に応じて吸気/排気バルブタイミング（VVT角度 θ ）が調整される。尚、可変バルブタイミング機構28、29は、油圧駆動式、電磁駆動式のいずれの方式であっても良い。

【0023】一方、エンジン11の排気管21の途中には、排出ガスを浄化する三元触媒等の触媒22が設置されている。この触媒22の上流側には、排出ガスの空燃比（又は酸素濃度）を検出する空燃比センサ（又は酸素センサ）23が設けられている。また、エンジン11のシリンダブロックには、冷却水温を検出する冷却水温センサ24や、エンジン回転速度 N_e を検出するクランク角センサ25が取り付けられている。

【0024】これら各種のセンサ出力は、エンジン制御回路（以下「ECU」と表記する）30に入力される。このECU30は、マイクロコンピュータを主体として構成され、内蔵されたROM（記憶媒体）に記憶された図4乃至図11の燃料噴射制御用の各ルーチンを実行することで、吸気系モデルを用いて筒内充填空気量 g_c （シリンダ吸入空気量）を演算する演算手段として機能すると共に、この筒内充填空気量 g_c に応じて燃料噴射量を設定する。

【0025】この筒内充填空気量 g_c の演算に用いる吸気系モデルは、スロットルバルブ15からエンジン11の吸気口までの吸気通路（以下「スロットル下流吸気通路」という）を流れる吸入空気の挙動をモデル化したものであり、質量保存の法則と気体の状態方程式から次のようにして導き出される。

【0026】スロットル下流吸気通路の吸入空気の流れに質量保存の法則を適用すると、次の（1）式で表される関係が得られる。

$$d/dt \cdot G_m = g - g_c \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 G_m はスロットル下流吸気通路内の空気質量、 $d/dt \cdot G_m$ はスロットル下流吸気通路内の空気質量の変化量、 g はスロットル通過空気量（スロットルバルブ15を通過する空気量）、 g_c は筒内充填空気量である。

【0028】また、スロットル下流吸気通路に気体の状態方程式を適用すると、次の（2）式に表す関係が得られる。

$$g_c = \eta \cdot N_e / 2 \cdot V_c \cdot \rho_m \quad \dots\dots (2)$$

η ：体積効率

N_e ：エンジン回転速度

V_c ：シリンダ容積

ρ_M : スロットル下流吸気通路内の空気密度

【0028】ここで、体積効率 η は、吸入空気流量によって変化するため、吸入空気流量と相関関係のあるパラメータであるエンジン回転速度 N_e と吸気圧力 P とに基づいてマップ等により設定される。 $\eta = f(N_e, P)$

【0030】また、スロットル下流吸気通路内の空気密度 ρ_M は、スロットル下流吸気通路内の空気質量 G_M をスロットル下流吸気通路の内容積 V_M で割り算して求められる。

$$\rho_M = G_M / V_M \quad \dots\dots (3)$$

【0031】また、吸気系モデルのモデル時定数 τ_M は次の(4)式で表される。

$$\tau_M = 2 \cdot V_M / (V_c \cdot \eta \cdot N_e) \quad \dots\dots (4)$$

上記(1)～(4)式から次の(5)、(6)式が導き出される。

$$g_c = G_M / \tau_M \quad \dots\dots (5)$$

$$d/dt \cdot G_M = g - G_M / \tau_M \quad \dots\dots (6)$$

【0033】上記(6)式をラプラス変換すると、次の

$$g = (1 + T_1 \cdot s) / (1 + T_2 \cdot s) \cdot g_{MAF} \quad \dots\dots (8)$$

【0036】ここで、 T_1 、 T_2 は、位相進み補償の時定数であり、エアフロメータ14の出力 g_{MAF} 、エンジン回転速度 N_e 、吸気圧力 P 、スロットル開度のうちの少なくとも1つに基づいて設定される。

【0037】また、前記(7)式で表される吸気系モデルのモデル時定数 τ_M は、体積効率 η とエンジン回転速度 N_e を変数とする前記(4)式で算出され、体積効率 η はエンジン回転速度 N_e と吸気圧力 P をパラメータとする二次元マップにより算出される。

【0038】本実施形態では、1枚の体積効率算出マップから可変バルブタイミング機構28、29(VVT)の応答遅れを補償した体積効率 η を算出するために、図12に示すように、予め可変バルブタイミング機構28、29を成り行きで動作させたときの体積効率(基本体積効率) η_r のマップを1枚作成してECU30のROMに記憶しておき、このマップを検索して現在のエンジン回転速度 N_e と吸気圧力 P に応じた基本体積効率 η_r を算出する。そして、現在のエンジン回転速度 N_e と吸気圧力 P (又はスロットル開度等)に応じたVVT目標角度 θ_{tr} をマップにより算出し、このVVT目標角度 θ_{tr} と現在のVVT角度 θ と基本体積効率 η_r を用いて、次のなまし式により体積効率 η を算出する。

$$\eta_{(i)} = (\eta_{(i-1)} - \eta_r) \cdot (1 - \theta_{tr}/\theta) + \eta_r$$

ここで、 $\eta_{(i)}$ は今回の体積効率、 $\eta_{(i-1)}$ は前回の体積効率である。

【0040】尚、本実施形態のように、吸気/排気の両側に可変バルブタイミング機構28、29を備えたシス

$$g_c = (1 + T_1 \cdot s) / (1 + \tau_M \cdot s) \cdot g \quad \dots\dots (10)$$

この(10)式で表される吸気系モデルの伝達関数は、分母の項の時定数 τ_M が分子の項の時定数 T_1 と比べて格段に大きいので、過渡時でも吸気系モデルの出力(筒

(7)式で表される吸気系モデルの伝達関数が求められる。

$$g_c = 1 / (1 + \tau_M \cdot s) \cdot g \quad \dots\dots (7)$$

【0034】この吸気系モデルの入力となるスロットル通過空気量 g は、エアフロメータ14の出力 g_{MAF} を利用することになるが、このエアフロメータ14の出力 g_{MAF} には応答遅れがあるため、エアフロメータ14の出力 g_{MAF} をそのまま吸気系モデルの入力として用いると、過渡時に吸気系モデルの出力(筒内充填空気量 g_c)の演算誤差が大きくなり、十分な演算精度を確保することができない。

【0035】そこで、本実施形態では、図2に示すように、吸気系モデルの入力側に、エアフロメータ14の出力 g_{MAF} の応答遅れを位相進み補償で補償する応答遅れ補償要素(応答遅れ補償手段)を設け、この応答遅れ補償要素の出力 g を吸気系モデルに入力する。応答遅れ補償要素(位相進み補償要素)の伝達関数は次の(8)式で表される。

【0036】ここで、 T_1 、 T_2 は、位相進み補償の時定数であり、エアフロメータ14の出力 g_{MAF} 、エンジン回転速度 N_e 、吸気圧力 P 、スロットル開度のうちの少なくとも1つに基づいて設定される。

【0037】また、前記(7)式で表される吸気系モデルのモデル時定数 τ_M は、体積効率 η とエンジン回転速度 N_e を変数とする前記(4)式で算出され、体積効率 η はエンジン回転速度 N_e と吸気圧力 P をパラメータとする二次元マップにより算出される。

【0038】本実施形態では、1枚の体積効率算出マップから可変バルブタイミング機構28、29(VVT)の応答遅れを補償した体積効率 η を算出するために、図12に示すように、予め可変バルブタイミング機構28、29を成り行きで動作させたときの体積効率(基本体積効率) η_r のマップを1枚作成してECU30のROMに記憶しておき、このマップを検索して現在のエンジン回転速度 N_e と吸気圧力 P に応じた基本体積効率 η_r を算出する。そして、現在のエンジン回転速度 N_e と吸気圧力 P (又はスロットル開度等)に応じたVVT目標角度 θ_{tr} をマップにより算出し、このVVT目標角度 θ_{tr} と現在のVVT角度 θ と基本体積効率 η_r を用いて、次のなまし式により体積効率 η を算出する。

【0040】尚、本実施形態のように、吸気/排気の両側に可変バルブタイミング機構28、29を備えたシステムでは、両側の可変バルブタイミング機構28、29が同じ応答遅れを生じるため、現在のVVT角度 θ は、吸気側VVT角度と排気側VVT角度の平均値を用いれば良い。

$$g = 1 / (1 + T_2 \cdot s) \cdot g_{MAF} \quad \dots\dots (9)$$

【0043】この補償要素は、単純な一次遅れ要素(ローパスフィルタ)であるため、エアフロメータ14の出力 g_{MAF} が急激に変化したときでも、補償要素の出力 g が振動(発散)せず、安定性が確保される。

【0044】また、吸気系モデルの伝達関数は、応答遅れ補償要素の分子の項 $(1 + T_1 \cdot s)$ が組み込まれることで、次の(10)式のように表される。

内充填空気量 g_c)が振動せず、安定性が確保される。

【0046】本実施形態では、図3の筒内充填空気量演算モデルを用いて、上記(9)、(10)式により筒内

充填空気量 g_c を演算する。但し、上記(9)、(10)式は連続式であるため、これをECU30でデジタル演算処理できるようにするために、上記(9)、(10)の連続式を双一次変換により離散化して用いる。これにより、補償要素を表現する(9)式は次の[数1]式で表現される離散式に変換され、この離散式を用いて補償要素(ローパスフィルタ)の出力 g が演算される。

【0047】

【数1】

$$g_{(i)} = \frac{\Delta t}{\Delta t + 2T_2} \cdot g_{MAF} - \frac{\Delta t - 2T_2}{\Delta t + 2T_2} \cdot g_{(i-1)} \quad (10)$$

【0047】ここで、 $g_{(i)}$ は今回の g の値、 $g_{(i-1)}$ は前回の g の値、 Δt はサンプリング時間である。また、吸気系モデルを表現する(10)式は、次の[数2]式で表現される離散式に変換され、この離散式を用いて吸気系モデルの出力である筒内充填空気量 g_c が演算される。

【0049】

【数2】

$$g_{C(i)} = \frac{\Delta t + 2T_{IM}}{\Delta t + 2T_{IM}} \cdot g_{(i)} + \frac{\Delta t - 2T_{IM}}{\Delta t + 2T_{IM}} \cdot g_{(i-1)} - \frac{\Delta t - 2T_{IM}}{\Delta t + 2T_{IM}} \cdot g_{C(i-1)} \quad [kg/sec] \quad (20)$$

【0050】ここで、 $g_{C(i)}$ は今回の g_c の値、 $g_{C(i-1)}$ は前回の g_c の値である。ECU30は、図4乃至図11の燃料噴射制御用の各ルーチンを実行することで、上記[数1]、[数2]の離散式を用いて筒内充填空気量 g_c を演算し、燃料噴射量を制御する。以下、各ルーチンの処理内容を説明する。

【0051】[メインルーチン] 図4のメインルーチンは、イグニッションスイッチのオン後に所定周期で実行される。本ルーチンが起動されると、まずステップ100で、後述する図5の筒内充填空気量演算ルーチンを実行し、エアフロメータ14の出力 g_{MAF} に基づいて筒内充填空気量 g_c を演算する。この後、ステップ200で、燃料噴射量設定ルーチン(図示せず)を実行し、筒内充填空気量 g_c とエンジン回転速度に応じてマップ等により基本噴射量を算出し、この基本噴射量に空燃比フィードバック補正係数、水温補正係数等の各種の補正係数を乗算して最終的な燃料噴射量を求める。

【0052】[筒内充填空気量演算ルーチン] 図5の筒内充填空気量演算ルーチンは、図4のメインルーチンのステップ100で実行されるサブルーチンである。本ルーチンが起動されると、まずステップ110で、図6の始動時間カウンタルーチンを実行し、始動時間 T_s をカウントする。図6の始動時間カウンタルーチンでは、まず、ステップ111で、始動後であるか否かをエンジン回転速度が所定値(例えば300rpm)以上であるか

否かで判定し、始動後でないと判定された場合は、ステップ112に進み、イグニッションスイッチのオン後の経過時間(始動時間) T_s をカウントする。一方、ステップ111で、始動後であると判定された場合は、ステップ113に進み、始動時間 T_s を最大値(イグニッションスイッチのオンから始動完了までの経過時間)に設定する。

【0053】図6の始動時間カウンタルーチンの終了後に、図5のステップ120に進み、後述する図7のエアフロメータ出力に基づく筒内充填空気量演算ルーチンを実行して、エアフロメータ14の出力 g_{MAF} に基づいて筒内充填空気量 g_{CA} を演算する。この後、ステップ130に進み、始動後であるか否かをエンジン回転速度が所定値(例えば300rpm)以上であるか否かで判定し、始動後でないと判定された場合は、ステップ140に進み、後述する図9の吸気圧力に基づく筒内充填空気量演算ルーチンを実行して、吸気圧力センサ18の出力 P に基づいて筒内充填空気量 g_{CP} を演算する。

【0054】一方、上記ステップ130で、始動後であると判定された場合は、ステップ150に進み、エアフロメータ14が活性化したか否かを判定する。このエアフロメータ14の活性判定は、次のいずれかの方法で行えば良い。

【0055】①イグニッションスイッチのオン後の経過時間(始動時間 T_s) が、エアフロメータ14の活性化に必要な所定時間 t_a 経過したか否かを判定し、所定時間 t_a が経過してなければ、エアフロメータ14が活性化していないと判定し、所定時間 t_a が経過していれば、エアフロメータ14が活性化したと判定する。この場合、所定時間 t_a は、演算処理の簡略化のために固定値としても良いが、冷却水温、外気温等に応じてマップ等により設定するようにしても良い。

【0056】②エアフロメータ14の出力 g_{MAF} に基づいて演算した筒内充填空気量 g_{CA} と吸気圧力センサ18の出力 P に基づいて演算した筒内充填空気量 g_{CP} との誤差が設定値より小さいか否かを判定し、誤差が設定値以上であれば、エアフロメータ14が活性化していないと判定し、誤差が設定値より小さければ、エアフロメータ14が活性化したと判定する。

【0057】尚、上記①の活性判定方法を用いる場合、所定時間 t_a をある程度の余裕を見て長めの時間に設定すれば、エアフロメータ14の活性前に活性済みと誤判定する事態を確実に回避できるが、所定時間 t_a を長くすると、その分、活性済みと判定するタイミングが遅れて、筒内充填空気量の演算方法の切替タイミングが遅れることになる。

【0058】そこで、所定時間 t_a を必要最小限の時間に設定すると共に、活性判定の誤判定を回避するために、上記①と②の両方の条件が成立したときに、エアフロメータ14が活性化したと判定し、それ以外の場合

は、エアフロメータ14が活性化していないと判定するようにしても良い。このようにすれば、イグニッションスイッチのオン後の経過時間(始動時間 T_s)が必要最小限に設定された所定時間 t_a に達した時点で、②の条件を満たせば、エアフロメータ14が活性化したと判定することができ、活性判定の誤判定を回避しながら、筒内充填空気量の演算方法を早期に切り換えることができる。

【0059】上記ステップ150で、エアフロメータ14が活性化していないと判定された場合は、ステップ140に進み、後述する図10の吸気圧力に基づく筒内充填空気量演算ルーチンを実行して、吸気圧力センサ18の出力 P に基づいて筒内充填空気量 g_{CP} を演算する。

【0060】その後、ステップ150で、エアフロメータ14が活性化したと判定された時点で、ステップ160に進み、筒内充填空気量 g_C の演算方法を下記の式により吸気圧力センサ18の出力 P に基づく演算からエアフロメータ14の出力 g_{MAF} に基づく演算に徐々に切り換える。

$$g_C = g_{CA} + (g_{CP} - g_{CA}) \times \alpha$$

【0061】ここで、 α は、筒内充填空気量 g_C の演算方法を徐々に切り換えるための係数であり、エアフロメータ14の活性後(演算方法の切替開始後)の経過時間に応じてマップ等により設定される。この場合、エアフロメータ14の活性直後(演算方法の切替開始当初)は、 $\alpha = 1.0$ で、その後の時間経過に伴って α が徐々に小さくなり、所定時間経過後に $\alpha = 0$ となり、その後は、 $\alpha = 0$ に維持される。 $\alpha = 0$ になれば、エアフロメータ14の出力 g_{MAF} に基づいて演算した筒内充填空気量 g_{CA} がそのまま最終的な筒内充填空気量 g_C となる。

【0062】[エアフロメータ出力に基づく筒内充填空気量演算ルーチン] 図7のエアフロメータ出力に基づく筒内充填空気量演算ルーチンは、図5の筒内充填空気量

$$g_{CA(i)} = \frac{\Delta t + 2T_1}{\Delta t + 2T_{IM}} \cdot g_{(i)} + \frac{\Delta t - 2T_{IM}}{\Delta t + 2T_{IM}} \cdot g_{(i-1)} - \frac{\Delta t - 2T_{IM}}{\Delta t + 2T_{IM}} \cdot g_{C(i-1)} \quad [\text{kg/sec}]$$

【0066】この[数4]式で算出される筒内充填空気量 $g_{CA(i)}$ の単位は kg/sec (単位時間当たりの筒内充填空気量)であるため、次のステップ170で、筒

$$g_{CA(i)} = g_{CA(i)} / (\text{Ne} / 60) \quad [\text{kg/rev}]$$

【0067】[スロットル通過空気量のサイクル間平均処理ルーチン] 図8のスロットル通過空気量のサイクル間平均処理ルーチンは、図7のルーチンのステップ122で実行されるサブルーチンである。本ルーチンが起動されると、まずステップ131で、始動後であるか否かを、エンジン回転速度が所定値(例えば300rpm)以上であるか否かで判定し、始動完了前であれば、後述

演算ルーチンのステップ120で実行されるサブルーチンである。本ルーチンが起動されると、まずステップ121で、位相進み補償要素の分子の項の時定数 T_1 を、エアフロメータ14の出力 g_{MAF} 、エンジン回転速度 Ne 、吸気圧力 P 、スロットル開度のうちの少なくとも1つに基づいてマップ等により設定する。尚、この時定数 T_1 は、演算処理を簡略化するために固定値としても良い。

【0063】時定数 T_1 の設定後、ステップ122に進み、後述する図8のスロットル通過空気量のサイクル間平均処理ルーチンを実行し、熱式のエアフロメータ14の出力 g_{MAF} から1サイクル間のスロットル通過空気量の平均値 $g_{MAF_{AV}}$ を演算する。この後、ステップ123に進み、次の[数3]式を用いて補償要素(ローパスフィルタ)の出力 $g_{(i)}$ を演算する。

【0064】

【数3】

$$g_{(i)} = \frac{\Delta t}{\Delta t + 2T_2} \cdot g_{MAF_{AV}} - \frac{\Delta t - 2T_2}{\Delta t + 2T_2} \cdot g_{(i-1)}$$

【0064】この後、ステップ124に進み、後述する図9のモデル時定数演算ルーチンを実行し、吸気系モデルのモデル時定数 T_{IM} を演算する。この後、ステップ125に進み、位相進み補償要素の分母の項の時定数 T_2 を、エアフロメータ14の出力 g_{MAF} 、エンジン回転速度 Ne 、吸気圧力 P 、スロットル開度のうちの少なくとも1つに基づいてマップ等により設定する。尚、この時定数 T_2 は、演算処理を簡略化するために固定値としても良い。

【0065】この後、ステップ126に進み、次の[数4]式を用いて吸気系モデルの出力である筒内充填空気量 $g_{CA(i)}$ を演算する。

【0066】

【数4】

内充填空気量 $g_{CA(i)}$ の単位を次式により kg/rev (エンジン1回転当たりの筒内充填空気量)に変換する。

$$g_{CA(i)} = g_{CA(i)} / (\text{Ne} / 60) \quad [\text{kg/rev}]$$

する図10の吸気圧力に基づく筒内充填空気量演算ルーチンを実行し、吸気圧力センサ18の出力 P に基づいて筒内充填空気量 g_{CP} を演算する。

【0068】この後、ステップ133に進み、吸気圧力センサ18の出力 P に基づいて演算した筒内充填空気量 g_{CP} から次式により1サイクル間のスロットル通過空気量の平均値 $g_{MAF_{AV}}$ を推定する。

$$g_{MAFAV} = g_{CP} \cdot N_{min} / 60 \quad [kg/sec]$$

【0069】ここで、 N_{min} は現在のエンジン回転速度であるが、始動完了前はエンジン回転速度が不安定であるため、 N_{min} = 固定値（例えば 300 rpm）に設定されている。

【0070】一方、上記ステップ 131 で、始動後であると判定されれば、ステップ 134 に進み、エアフロメータ 14 の出力 g_{MAF} の 1 サイクル間の時間 t_{180} を取り込む。1 サイクル間の時間 t_{180} は、4 気筒エンジンであれば、180℃A 回転するのに要する時間である。

【0071】この後、ステップ 135 に進み、1 サイクル間のサンプリング数 N_{180} を次式により算出する。

$$N_{180} = t_{180} / \Delta t$$

ここで、 Δt はサンプリング時間である。この後、ステップ 136 に進み、次式により 1 サイクル間のスロットル通過空気量の平均値 g_{MAFAV} を次式により演算する。

【0074】

【数 5】

$$g_{MAFAV} = \sum_{i=0}^{N_{180}-1} g_{MAF(i)} / N_{180}$$

$$g_{CP} = \eta \cdot V_c \cdot P / (2 \cdot R \cdot T) \quad [kg/rev]$$

ここで、 V_c はシリンダ容積、 R は気体定数、 T は吸気温度である。

【0078】【体積効率演算ルーチン】図 11 の体積効率演算ルーチンは、図 9 のステップ 137 と図 10 のステップ 141 で実行されるサブルーチンである。本ルーチンが起動されると、まずステップ 151 で、現在の吸気圧力 P 、大気圧 P_a 、吸気温度 T 、エンジン回転速度 N_e 、 VVT 角度 θ （バルブタイミング）、冷却水温 T_{HW} を読み込む。この後、ステップ 152 に進み、可変バルブタイミング機構 28、29 を成り行きで動作させたときの体積効率（基本体積効率） η_r のマップを検索して、現在のエンジン回転速度 N_e と吸気圧力 P に応じた基本体積効率 η_r を演算する。

【0079】この後、ステップ 153 に進み、 VVT 目標角度 θ_{tr} をマップを検索して、現在のエンジン回転速度 N_e と吸気圧力 P に応じた VVT 目標角度 θ_{tr} を演算する。その後、ステップ 154 に進み、 VVT 目標角度 θ_{tr} と現在の VVT 角度 θ と基本体積効率 η_r を用いて、次のなまし式により体積効率 η を算出する。

$$\eta_{(i)} = (\eta_{(i-1)} - \eta_r) \cdot (1 - \theta_{tr}/\theta) + \eta_r$$

ここで、 $\eta_{(i)}$ は今回の体積効率、 $\eta_{(i-1)}$ は前回の体積効率である。

【0081】尚、本実施形態のように、吸気/排気の両側に可変バルブタイミング機構 28、29 を備えたシステムでは、両側の可変バルブタイミング機構 28、29 が同じ応答遅れを生じるため、現在の VVT 角度 θ は、吸気側 VVT 角度と排気側 VVT 角度の平均値を用いれば良い。

【0074】【モデル時定数演算ルーチン】図 9 のモデル時定数演算ルーチンは、図 7 のルーチンのステップ 124 で実行されるサブルーチンである。本ルーチンが起動されると、まずステップ 137 で、後述する図 11 の体積効率演算ルーチンを実行して、体積効率 η を演算する。この後、ステップ 138 に進み、モデル時定数 τ_M を次式により演算する。

$$\tau_M = 2 \cdot V_M / (V_c \cdot \eta \cdot N_e / 60)$$

ここで、 V_M はスロットル下流吸気通路の内容積（固定値）、 V_c はシリンダ容積（固定値）、 N_e はエンジン回転速度（rpm）である。

【0076】【吸気圧力に基づく筒内充填空気量演算ルーチン】図 10 の吸気圧力に基づく筒内充填空気量演算ルーチンは、図 5 のステップ 140 と図 8 のステップ 132 で実行されるサブルーチンである。本ルーチンが起動されると、まずステップ 141 で、後述する図 11 の体積効率演算ルーチンを実行して、体積効率 η を演算する。この後、ステップ 142 に進み、次式により吸気圧力センサ 18 の出力（吸気圧力） P に基づいて筒内充填空気量 g_{CP} を演算する。

【0082】現在の VVT 角度 θ = （吸気側 VVT 角度 + 排気側 VVT 角度）/ 2

以上説明した図 4 乃至図 11 の各ルーチンによって演算した筒内充填空気量の挙動の一例を図 13 のタイムチャートに示している。図 13 のタイムチャートには、比較例として、従来のマスフロー方式（エアフロメータ出力から筒内充填空気量を演算する方式）と、従来のスピードデンシティ方式（吸気圧力センサ出力から筒内充填空気量を演算する方式）も示している。

【0083】マスフロー方式は、定常時の筒内充填空気量の演算精度が良いという利点があるが、過渡時の応答性が悪く、過渡時の筒内充填空気量の演算精度が悪いという欠点がある。一方、スピードデンシティ方式は、マスフロー方式と比較して過渡時の応答性が良いという利点があるが、定常時の筒内充填空気量の演算精度が悪いという欠点がある。

【0084】これに対し、本実施形態では、エアフロメータ 14 の応答遅れを位相進み補償で補償して筒内充填空気量を演算するようにしたので、エアフロメータ 14 の出力に基づいて筒内充填空気量を演算する方式でありながら、過渡時の応答性を改善することができ、過渡時の筒内充填空気量の演算精度を向上できる。しかも、エアフロメータ 14 の出力から筒内充填空気量を演算するため、定常時の筒内充填空気量の演算精度も良い。

【0085】ところで、熱式のエアフロメータ 14 のセンサ部は、吸入空気中で冷やされる熱線と、吸気温度を検出する温度検出素子とから構成され、熱線の温度と吸気温度との温度差を一定に保つように熱線への供給電流を

制御して、その供給電流によって吸入空気流量を検出する構成であるため、始動時に、熱線への電流供給を開始して熱線の温度と吸気温度との温度差が一定値に達するまでの期間（つまりエアフロメータ14が活性化するための期間）は、吸入空気流量を精度良く検出することはできない。

【0086】そこで、本実施形態では、始動時には、吸気圧力センサ18の出力P（吸気圧力）に基づいて筒内充填空気を演算し、その後、エアフロメータ14が活性化したと推定される時期に、筒内充填空気の演算方法
10 エアフロメータ14の遅れ補償後の出力に基づく演算に徐々に切り換えるようにした。一般に、吸気圧力センサ18は、吸気圧力によるダイヤフラムの変位を検出するものであるため、エアフロメータ14のような始動時の未活性期間はなく、電源投入直後（イグニッションスイッチのオン直後）から吸気圧力を検出可能である。従って、始動時に、エアフロメータ14が活性化するまで、吸気圧力センサ18の出力に基づいて筒内充填空気を演算するようにすれば、エアフロメータ14の未活性期間でも、筒内充填空気を検出することができる。

【0087】また、本実施形態では、図12に示すように、予め可変バルブタイミング機構28、29を成り行きて動作させたときの体積効率（基本体積効率） η_r のマップを1枚作成しておき、このマップから現在のエンジン回転速度 N_e と吸気圧力Pに応じた基本体積効率 η_r を算出し、この基本体積効率 η_r と現在のVVT角度 θ とVVT目標角度 θ_{tr} を用いて、体積効率 η をなまし式により算出するようにしたので、1枚のマップから可
20 変バルブタイミング機構28、29の動作の応答遅れを補償した体積効率 η を求めることができる。このため、体積効率の算出マップをバルブタイミングに応じて何枚も作成しなくても、1枚のマップで全てのバルブタイミングに対応することができ、マップ作成の適合工数を少なくすることができると共に、マップデータの記憶に必要なメモリ容量も少なくすることができる。

【0088】しかしながら、本発明は、体積効率の算出マップをバルブタイミングに応じて複数枚作成しても良く、この場合でも、本発明の所期の目的を十分に達成することができる。

【0089】また、本実施形態では、エンジン回転速度 N_e と吸気圧力Pに基づいて体積効率 η を算出し、この体積効率 η とエンジン回転速度 N_e を用いて吸気系モデルのモデル時定数 τ_m を算出するようにしたが、このモデル時定数 τ_m とエンジン回転速度 N_e と吸気圧力Pとの関係を予め実験やシミュレーションによってマップ化又は数式化して、エンジン回転速度 N_e と吸気圧力Pとからモデル時定数 τ_m を直接算出するようにしても良い。

【0090】また、体積効率 η を算出するためのパラメ

ータの1つとして、吸気圧力Pの代わりに吸気圧力P／大気圧 P_a を用いるようにしても良い。このようにすれば、山岳走行時の標高変化等によって大気圧 P_a が変化しても、その影響を受けずに筒内充填空気を精度良く演算することができる。

【0091】尚、本発明の適用範囲は、吸気／排気可変バルブタイミング機構付きのエンジンに限定されず、吸気側（又は排気側）のみを可変バルブタイミングとしたエンジンや、可変バルブタイミング機構を全く搭載しないエンジンにも適用でき、また、吸気ポート噴射エンジンに限定されず、筒内噴射エンジンにも適用できる。また、エアフロメータ（吸入空気流量検出手段）も熱式エアフロメータに限定されず、例えば、ペーン式やカルマン渦式のエアフロメータを用いても良い。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態を示すエンジン制御システム全体の概略構成図

【図2】筒内充填空気量演算モデル（その1）を示すブロック線図

20 【図3】筒内充填空気量演算モデル（その2）を示すブロック線図

【図4】メインルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図5】筒内充填空気量演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図6】始動時間カウンタルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図7】エアフロメータ出力に基づく筒内充填空気量演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

30 【図8】スロットル通過空気量のサイクル間平均処理ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図9】モデル時定数演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図10】吸気圧力に基づく筒内充填空気量演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図11】体積効率演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

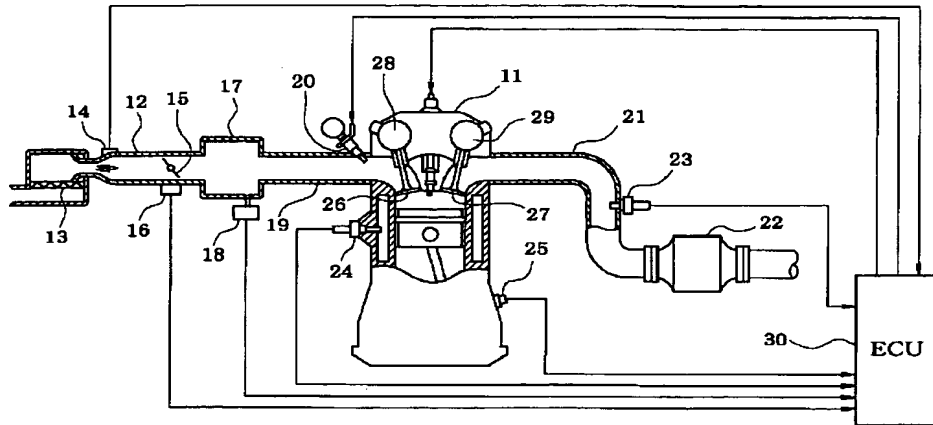
【図12】体積効率演算モデルを示すブロック線図

40 【図13】過渡時と定常時の筒内充填空気量の検出値の挙動を示すタイムチャート

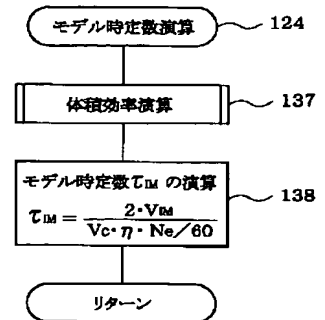
【符号の説明】

11…エンジン（内燃機関）、12…吸気管（吸気通路）、14…熱式エアフロメータ（吸入空気流量検出手段）、15…スロットルバルブ、17…サージタンク（吸気通路）、18…吸気圧力センサ（吸気圧力検出手段）、19…吸気マニホールド（吸気通路）、20…燃料噴射弁、21…排気管、28、29…可変バルブタイミング機構、30…ECU（演算手段）。

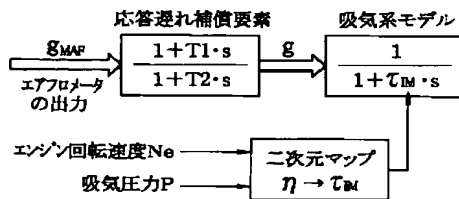
【図1】



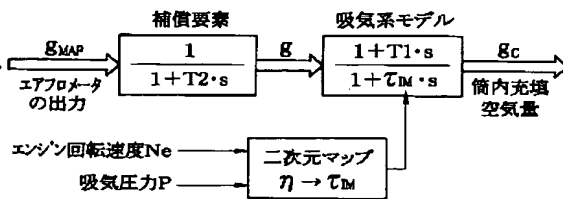
【図9】



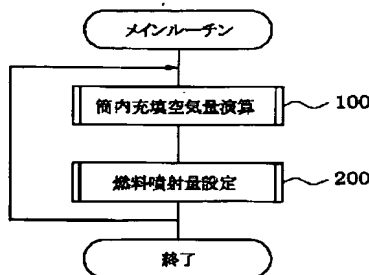
【図2】



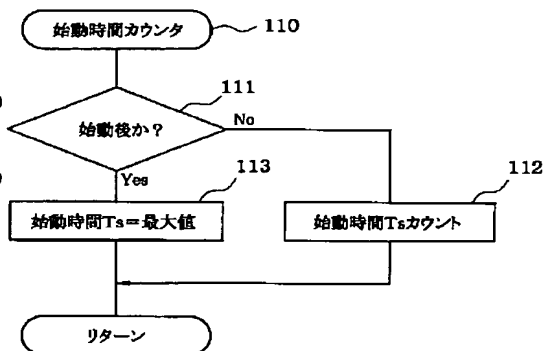
【図3】



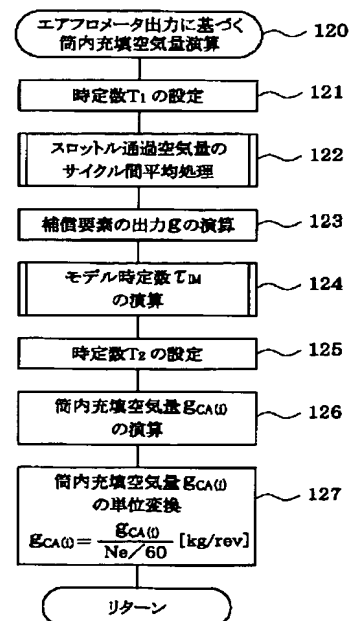
【図4】



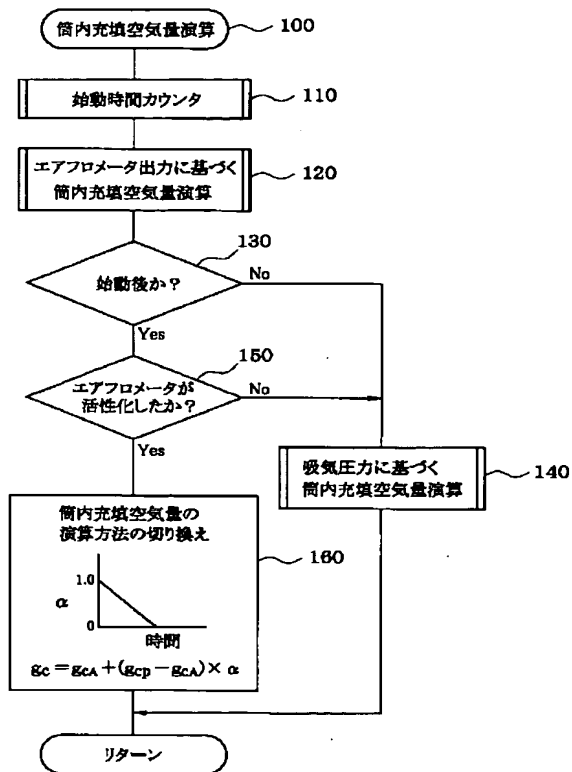
【図6】



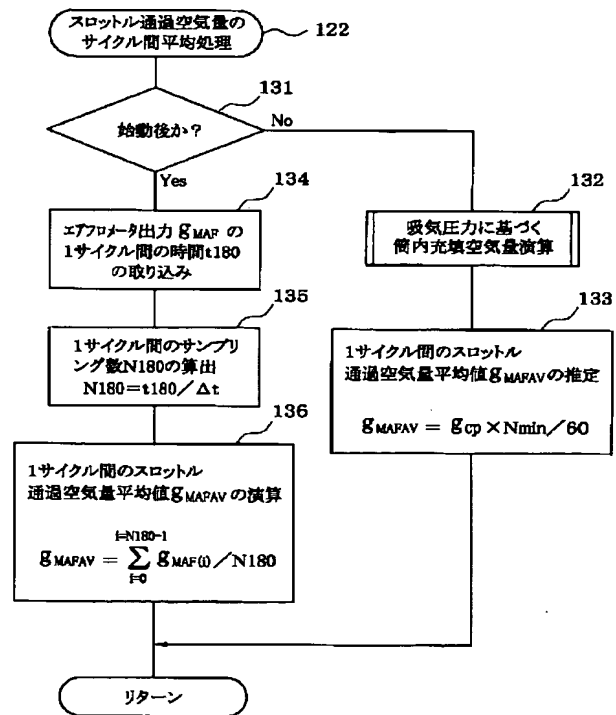
【図7】



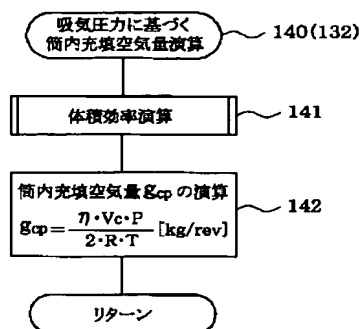
【図5】



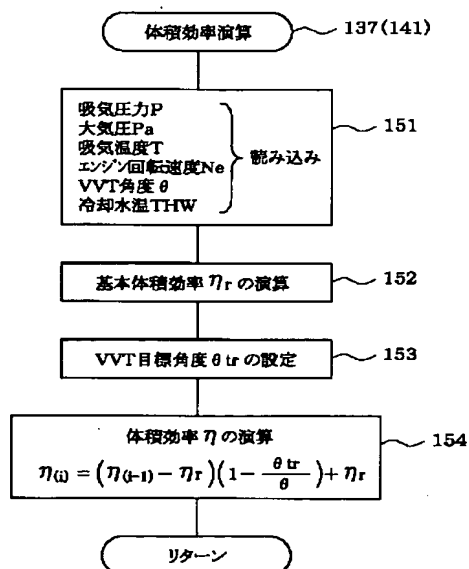
【図8】



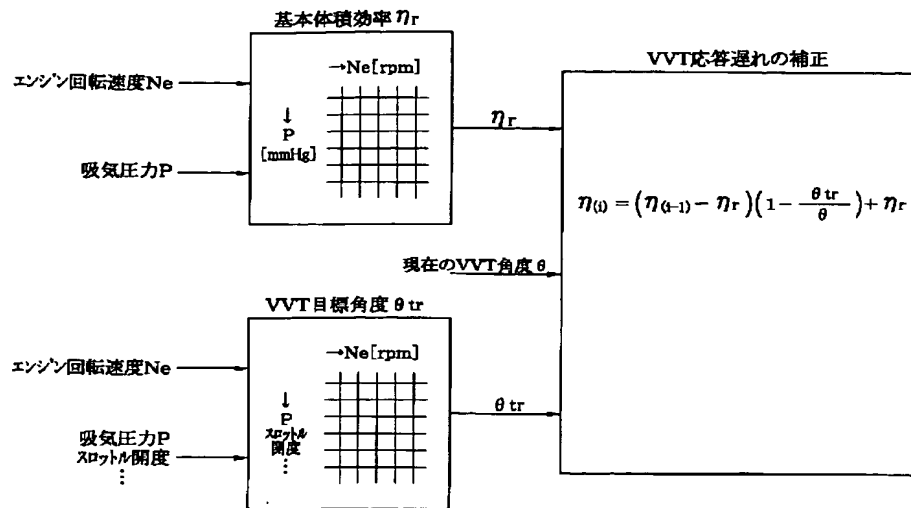
【図10】



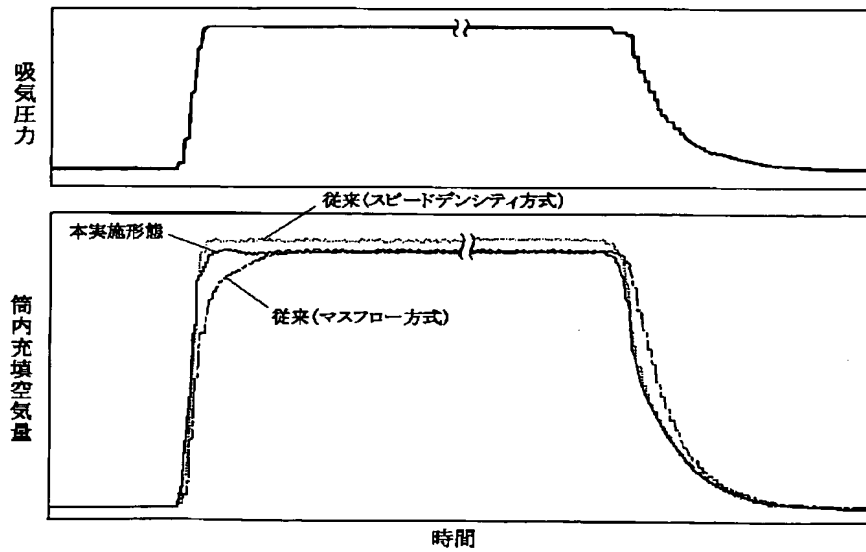
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷F 0 2 D 41/04
41/18

識別記号

3 2 0

F I

F 0 2 D 41/18

35/00

ターモート* (参考)

B

F

3 6 6 D

3 6 6 E

F ターム(参考) 3G084 AA03 BA13 BA23 CA01 CA04
CA05 CA06 DA04 EA04 EA11
EB09 EB12 EB25 FA00 FA01
FA02 FA08 FA10 FA11 FA20
FA26 FA29 FA33 FA38
3G092 AA11 AA13 BB01 DA01 DA02
DA03 DE01S EA02 EA03
EA04 EA22 EB01 EC01 EC10
FA00 FA06 GA01 GA03 GA11
HA01Z HA04Z HA05Z HA06Z
HA13Z HD05Z HE01Z HE03Z
HE08Z HF19Z
3G301 HA06 HA19 JA00 JA13 KA01
KA06 KA11 LA07 LB02 LC08
MA01 MA11 NA01 NA06 NA08
NA09 NC04 ND01 NE08 NE11
NE12 NE23 PA01Z PA07Z
PA09Z PA10Z PA11Z PD02Z
PE01Z PE03Z PE08Z PE10Z
PF16Z